第9卷 第4期
1959年8月

昆虫学报
ACTA ENTOMOLOGICA SINICA

Vol. IX, No. 4
August, 1959

蝗卵的研究 IV. 浸水对于蝗卵胚胎发育和死亡的影响

欽俊德 郭郛 翟啓慧 沙槎云
(昆虫研究所)

一、引言

东亚飞蝗常生长在湖滨、已干涸的河道、沿海边等长着禾本科杂草的低洼荒地；这些地方也就成为它們的产卵場所。蝗卵在产入土中之后須經一定时間方始孵化；夏蝗所产卵在自然情况下須經12天以上的孵育时間，秋蝗卵在越冬时在土中常长达7—8个月。蝗区每当雨季或湖、河的水位上涨时其有卵的地区常被淹沒，使蝗卵在水中經过长短不一的时間，然后水退。在苏联南部有亚洲飞蝗发生的地区也常有类似的情形，苏联学者有的認为这是影响次年蝗虫发生数量的重要因素[7]。蝗卵是否能在水中生活？能生活多久？何种因素能影响蝗卵在水中时的死亡率？曾浸水的蝗卵当环境条件恢复正常时其胚胎发育和孵化与未浸水的有何区别？这些問題在蝗虫的生态学和对蝗虫发生的預測方面均有重大的意义。我們自1953年开始，在蝗区自然环境中和在实驗室进行了一系列的試驗观察，本文报告其結果。

二、材料与方法

所用的材料均采自洪泽湖、微山湖等蝗区东亚飞蝗的蝗卵，或由其所孵出蝗虫經过飼养后所产下的卵块。关于在室內和野外飼养的方法，在我們以前的工作中均有过說明，[1,3]，蝗卵在用于試驗前其胚胎发育期按以前工作所述标准查明[1]。試驗中的各項处理将在以下有关各节中敘述。

三、試驗和結果

（一）浸水期內和浸水期后的蝗卵胚胎发育

Remaudiere 首先記录飞蝗 *L. migratoria gallica* 卵块在較高温度浸水时蝗卵可以进行胚胎发育[4]。Slifer 在研究 *Melanoplus* 卵的卵包膜性質时，也見到部分浸在快綠等染料中的蝗卵可进行胚胎发育，但比放在潮潤砂土中或湿濾紙上时慢[5]。Шумоков 和 Яхимович 观察亚洲飞蝗 *L. migratoria* 卵在水中发育的情形[7]；和 Remaudiere 一样，他們也見到休眠已結束的蝗卵在水中能完成胚胎轉旋或胚胎的順向移动，所經时日与在湿濾紙上的相当，但是，发育到晚期的胚胎在水中，大都死亡，不能裂破卵壳而孵出。在本工作中我們用在30℃恆温孵育到不同天数的卵块，以其卵粒的半数作为对照，以其他半数在温度为30℃的水中浸至5天或10天，取出后观察其胚胎发育的进展程度，再放在湿濾紙上在30℃孵

育。浸水在盛有自来水的培养皿中进行，卵粒离水面为 2.0—2.5 厘米。作为对照的卵粒当从卵块中分出后便放在湿滤紙上在 30℃ 孵育。分别記載各組卵粒孵化的日期，从而計算各組卵粒(未死亡的)在水外孵育时平均所需日数，与作为对照的比較，并且用漂白粉溶液溶去卵壳，观察蝗卵在浸水前后的胚胎发育期，以确定不同发育期蝗卵在水中的发育进展情形和經浸水后的影响。結果列为表 1 。

試驗結果表明无論原在何种发育期的蝗卵，在水中均可以进行胚胎发育，但发育进展的程度有显著的个体差异，一部分甚至于几乎仍停留在原阶段。在試驗中我們見到原在发育初期的卵在水中常可破裂，这时浆膜表皮尙未形成，原有的卵壳較为脆弱，不足以阻挡过多水分进入卵中。但未破裂的原在发育初期的卵也有在浸水的情况下产生浆膜表皮，在进行胚胎发育时可因摄取水分而膨胀。这些浸于水中的卵，其胚胎的生长发育十分显著，例如原經在 30℃ 孵育 1 天的蝗卵在后端只含有形状极小的胚盘，这种卵在水中經过 5 天后有的胚胎已形成了附肢，并已进行反向移动，經过 10 天后有少数卵，其胚胎竟可完成順向移动。試驗的結果表明原在发育初期的蝗卵在浸水期間胚胎发育一般較有明显的进展，这可能是由于它們此时呼吸量較低，水中所溶有的氧已能满足其呼吸的用处之故。

我們見到在水中已完成了胚胎发育的蝗卵，由于浆膜表皮的变薄而卵包膜削弱，稍一触及即可破裂(有时自行破裂)，但由其中分出的胚胎在水中只能蠕动，并且其胚胎表皮常不能蛻去。它們在水中即遭溺毙，与經在空气中孵出后复落入水中的幼蝻不同。它們的体壁表面都显呈一定程度的嫌水性，但后者的气管已为空气充满，活动增強，落入水中不易淹死。

由表 1 可以看到浸水組蝗卵在水外完成发育平均所需的日数与对照組的不同，原在发育初期的蝗卵浸水 5 天或 10 天后在水外完成发育所需的总日数已經縮短，这表明它們在水中已进行胚胎发育，但其速度可比在水外的慢。浸水对于这类蝗卵在回复到适宜环境中时发育的影响不很明显。表中还表明浸水 5 天时原在第 6 天孵育期以前的卵有如此現象，当浸水 10 天时只有原在第 1 天和第 2 天孵育期的才有如此現象。相反，原在其他孵育期的蝗卵在浸水时虽可从胚胎形态上看出发育有所进展，但在水外完成发育期所需的总日数比对照組的延长(原經孵育 9 天浸水 5 天的一例除外)，这說明浸水后的蝗卵当其回复到正常环境孵育时其胚胎发育受到影响，并且浸水日数愈长时这种影响也愈大。

据我們的观察，东亚飞蝗的卵无休眠現象，初产卵在温度适合时能一直发育到幼蝻孵化，中間不会停歇[1]。我們在試驗中見到有些浸水日期較长而仍活的蝗卵当回复到正常环境中时，有一部分其孵化日期可以大为延长。图 1 表明經在几种不同温度的水中浸 30 天后蝗卵的孵化情形。(甲)的蝗卵为产后在 30℃ 孵育 6 天后才浸水的，水温为 3℃，浸水至 30 天检查其胚胎均在发育期Ⅹ，經在 30℃ 湿滤紙上孵育結果，見其有 46.9% 能孵出幼蝻，此能孵化的卵中有 83% 是在孵育到 9—12 天孵化的，其余的 17% 孵化期延长，一直到 126 天孵化方告完毕。(乙)的蝗卵和(甲)的一样，浸水时間的水温变化自 15°—18℃，浸水 30 天后检查其胚胎多数在发育期ⅩⅣ，也有一部分在发育期Ⅹ。經在 30℃ 湿滤紙上孵育結果，只見其有 9.7% 能孵出幼蝻，此能孵化的卵中有 74.2% 是在孵育到 11—15 天孵化的，其余的 25.8% 孵化期也延长，直到 107 天孵化方告結束。(丙)的蝗卵原在

表 1　蝗卵在水中的胚胎發育及浸水对于發育速度的影响

浸水开始时的蝗卵发育期*	浸水日数	对照組		浸水組		
		孵化卵总数	完成发育平均所需日数	孵化卵总数	水外完成发育平均所需日数	浸水前后的胚胎发育程度。
1	5	66(2)†	13.62	27	11.96	浸水前胚盘在卵后端；浸水毕有些卵胚胎已形成附肢，并在反向移动之中。
	10	135(5)	15.17	25	12.96	浸水前与上同；浸水毕有极少数卵的胚胎已完成順向移动。
2	5	98(4)	13.87	44	12.92	浸水前胚盘在卵后端；浸水毕有的已大量吸水，胚胎在轉旋中或已完成轉旋。
	10	56(2)	16.14	9	15.78	浸水前与上同；浸水毕有些卵已完成順向移动。
3	5	57(2)	13.60	54	13.11	浸水前胚胎細长，附肢未形成；浸水毕胚胎已长大，附肢明显。
	10	28(2)	14.14	5	15.00	与上大致相同，浸水毕胚胎的附肢已形成，但未分节。
4	5	87(3)	14.12	85	13.83	浸水前胚胎体形細长；浸水毕头胸部寬度增加，附肢明显。
	10	167(5)	15.27	102	15.53	与上大致相同，浸水毕胚胎寬大，已在完成反向移动的时期。
5	5	82(3)	14.50	77	14.42	浸水前胚胎狹长；浸水毕胚胎寬大，并在轉旋前的时期。
	10	101(3)	14.88	52	15.96	浸水前与上同，浸水后有的已完成胚胎轉旋。
6	5	154(5)	14.06	154	13.99	浸水前胚胎短闊，复眼未現色素；浸水毕有的胚胎已在轉旋，复眼紅色。
	10	179(6)	14.41	79	14.70	与上大致相同。
7	5	98(3)	14.75	82	16.39	浸水前胚胎已完成轉旋，約占卵长的一半；浸水毕胚胎占卵全长。
	10	90(4)	15.50	95	16.62	与上大致相同。
8	5	128(4)	14.52	80	15.59	浸水前在順向移动中，占卵长的一半；浸水毕胚胎已完成順向移动。
	10	75(3)	14.35	33	15.36	与上大致相同。
9	5	129(4)	14.61	137	14.56	浸水前胚胎近乎占全卵长；浸水毕仍在此发育期。
	10	138(4)	14.42	111	14.46	与上大致相同。
10	5	136(4)	13.32	103	14.85	浸水前胚胎色素少，浆膜表皮較厚实；浸水毕色素增加，浆膜表皮变薄易破。
	10	103(3)	15.30	70	16.06	与上大致相同。
11	5	104(3)	14.24	19	15.26	浸水前后胚胎外形区别不大；浸水毕卵在水中极易破裂。

* 相当于蝗卵产后在 30℃ 恆温中发育的日数。　　† 括号內数字指所用卵块数。

30℃孵育到6天左右开始浸水，在温度为15—21℃的水中30天后检查其胚胎极多数在X期。經在30℃湿滤紙上孵育結果，能孵化的占总卵数65.3%，孵化的高峯在孵育第10天，占能孵化总数的49%，但孵化延长的日数較短，到第18天已孵化完毕。这种观察結果表明浸水1个月的蝗卵在回复到温度比較高的适宜环境中时孵化晚的可比孵化早的延迟到数个月之久。經检查胚胎发育期見到这种能如此延迟孵化的卵，其胚胎常在完成反向移动阶段，或在轉旋之前阶段。蝗科昆虫的卵当有休眠現象时，常当胚胎在完成反向移动时滞育；东亚飞蝗的卵虽无休眠現象，但在这种孵化期大为延迟的例子頗能使人把它們与休眠卵做比拟，这是一个极饒兴趣的現象。

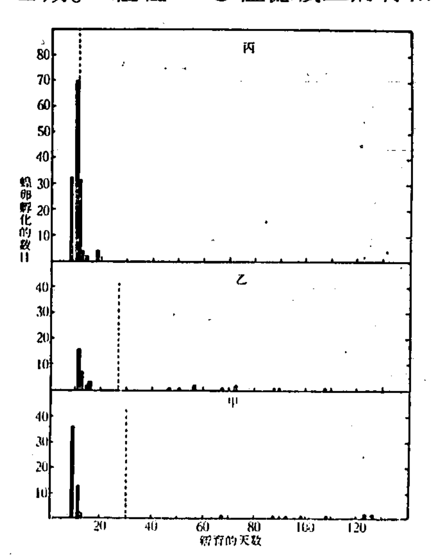


图1 蝗卵浸水后在30°C的适宜环境中幼蝻的孵化

甲、在3℃水中經30天，浸水后卵胚胎在X期，130个卵，卵化率46.9%；乙、在15—18℃水中經30天，浸水后卵胚胎在X和XIII期，390个卵，孵化率9.7%；丙、在15—21℃水中經30天，浸水后卵胚胎在X期，219个卵，孵化率65.3%，虚綫指出幼蝻孵化平均所需的日数

上面的观察結果說明：1.胚胎发育期在各种不同阶段的蝗卵在水中只要温度适合均能繼續进行发育，但由于个体差异，也可有一部分在水中不发育或发育极慢。2.原在孵育初期的蝗卵在水中較原在孵育中期或晚期的胚胎发育进展較快，但和在水分适量处孵育的蝗卵比較时发育都較慢。3.胚胎发育已告完成的蝗卵在水中虽可因卵包膜的破裂而孵出，但一般难以蜕去胚胎表皮，并且活动能力弱，在水中易遭溺毙，极少有成活的可能性。4.浸水对蝗卵的不良影响，常表現于当尚未死亡的蝗卵回复到水外孵育时需要較长的时間方能孵出幼蝻，浸水时間愈长时这种影响也愈明显。

（二）浸水期长短对蝗卵死亡率的影响

蝗卵浸于水中的时間愈长，它們的死亡率便愈高；因此，按理在实际上应有这样的一段时間，即蝗卵在水中經过此段时間后便全告死亡。我們臆断这段时間的长短必定受到水的温度、水中的气体含量、以及蝗卵本身的发育期等因素的影响。Remaudiere 的試驗証明 *L. migratoria gallica* 的卵在休眠时在室温（10—12℃）浸水可經210日不死，在30℃浸可經60天不死。为了查明东亚飞蝗当浸水时間延长时蝗卵死亡的情形和蝗卵在浸水时能在水中生活的最长时間，我們曾在蝗区自然环境中和在实驗室中进行了一系列的試驗，其結果如下。

首先我們初步观察了不同发育期蝗卵在实驗室条件下浸水后孵化或死亡的情形。所用的卵块均由在养虫箱中飼养成的成虫产入深为6—7厘米，直径为16—20厘米內盛砂土的玻缸中的，产有卵块的玻缸在浸水前在30℃恆温箱中孵育到不同的日数，然后注入自来水，使缸中的砂土完全浸沒，并在缸上用玻板蓋沒以防水分蒸发。此种玻缸或放在恆温箱中，或放在室温中，經过不同的日数后先用吸管吸干水分，然后蒸发使土中含有适量水分，再放在恆温箱或室温中孵育，記載其能否孵出幼蝻。結果表明：原在30℃孵育5天的卵块在30℃恆温和20—25℃室温分别浸水10天和21天，以及原在30℃孵育8—10

天、10—12 天在 13—20℃ 室温分别浸水 65 天和 53 天均可孵出幼蝻；初产卵在20—25℃室温浸水 30 天，以及无論是初产卵，或发育到中期卵在 15℃ 以上到 30℃ 浸水 165 天以上的便无幼蝻孵化。

表 2 和表 3 列出胚胎发育到中期和晚期的蝗卵，在 25—30℃ 和 28℃ 等較高温度下浸水至不同日数孵化或死亡的情形。此一观察系将卵块在浸水完毕时从湿土中取出，并从其中选出外形完整的(因有一部分敗坏或显然已死亡，在检查时此部分捨去)，在舖有湿滤紙培养皿中在 30℃ 恆温孵育，每日記載其能孵出幼蝻的卵数，由此計算其孵化百分率。結果表明在此情况下胚胎发育到中期的蝗卵浸水到18天时其完整卵尚有 17.5% 能孵化，到 25 天时便全部死亡，胚胎发育到晚期的卵浸水到 11 天时尚有极少部分 (0.4%) 能孵化，而浸水到 13 天时便完全死亡，說明前者的卵在水中能生活到較长的时間。

表 2　胚胎發育中期的蝗卵在水中經不同日数后的孵化情形 (水温:25—30℃)

浸水开始时的蝗卵发育期*	卵块数	浸水日数	检驗卵粒数目	孵化百分率
7,8	5	7	156	44.8
6	7	18	40	17.5
5	5	25	133	0
6	5	35	104	0
6	8	64	50	0

* 相当于蝗卵产后在 30℃ 恆温中发育的日数。

表 3　胚胎發育晚期的蝗卵在水中經不同日数后的孵化情形 (水温:28℃)

浸水开始时的蝗卵发育期*	卵块数	浸水日数	检驗卵粒数目	孵化百分率
8,9,10	5	3	377	60.0
10	7	5	410	80.0
10	4	7	190	46.3
10	5	9	220	27.3
10	5	11	265	0.4
9,10	6	13	299	0
9,10	6	15	242	0
9,10	8	17	325	0
9,10	8	19	302	0

* 相当于蝗卵产后在30℃恆温中发育日数。

这些初步的观察很明显地証实浸水时的水温和蝗卵胚胎发育期对于蝗卵死亡率的影响。試驗結果表明胚胎发育到中期的卵在水中能生活到較长的时間和高温能加速卵在水中的死亡。为了查明温度对蝗卵死亡影响的程度，我們以高为 12 厘米，直径为 10 厘米的玻缸盛着砂土，放置在养虫箱中使飞蝗将卵块产入其中。此种产有卵块的玻缸在 30℃ 恆温中放置 6—7 天，使蝗卵进行胚胎发育，直到中期。然后在各玻缸中徐徐加水使砂土完全浸沒，玻缸加盖以防水分蒸发。将此种玻缸置于不同温度中經 30 天，然后将其卵块取出，选择各卵块中外形完整的卵粒，分組放在湿滤紙上在 30℃ 孵育，并記載各組所孵出的幼蝻数。表 4 列出 2 次試驗的結果。第 1 次試驗表明在 24—28℃ 的温度浸水 30 天只能有极少数的卵能孵化，当温度在 30℃ 以上时便全部死亡。第 2 次試驗結果表明在20—26℃

表4 蝗卵在不同溫度浸水30日后的孵化情况

水溫范围(℃)	卵块数	浸水开始时的蝗卵发育期*	检驗卵粒数目	在30℃中卵的孵化		孵化百分率
				孵化盛期	孵化延續	
2—3	4	6—7	164	7—9天	124天	37.2
15—18	18	6—7	819	9—12天	105天	12.6
21—24	8	6—7	462	10—11天	103天	35.5
24—28	15	6—7	569	9天	9天	0.2
32—36	7	6—7	234	—	—	0
11—15	4	7—8	230	7—8天	8天	42.6
15—21	5	7—8	335	7—10天	18天	34.7
20—26	4	7—8	246	—	—	0
26—31	4	7—8	44	—	—	0

* 相当于蝗卵产后在30℃恆温中发育日数。

的温度浸水30天已足使蝗卵全部死亡。此种差异可能是因所用蝗卵对于不良环境的适应能力有所不同所造成。在初步观察中,我們見到原在30℃孵育到第5天的蝗卵,在温度为20—25℃的水中浸水21天尙能有少数幼蝻孵化,这意味着在接近30℃的水中浸水到1个月可能是东亚飞蝗蝗卵能生活的最高限度。反之,在温度較低的情况下蝗卵能忍受較长时間的浸水,例如我們在初步观察中見到在30℃孵育到第5天的蝗卵在溫度低于20℃的水中浸水到65天后仍可有一部分未死亡。

在野外自然环境中我們于1953年和1954年曾分別在微山湖西岸江苏銅山县和东岸山东薛城县蝗区进行蝗卵浸水試驗。1953年夏季在湖滨先挖成深浅不同的水坑;坑寬1米,长4米;水的深度有100厘米、80厘米、60厘米、40厘米、20厘米5种。試驗所用的卵块由在当地采集所飞蝗所产。先在养虫籠底上放置盛有当地土壤的竹制容器,其直径和高各为16厘米,蝗虫产卵便产入容器內的土壤中。如此获得的卵块在籠外借夏季的温度孵育到一定天数,然后連竹制容器放入水坑中。該年秋季幷在湖內浸水,用直径为26厘米、高为30厘米的瓦缸代替竹制容器。在1954年的試驗中也按上法使蝗虫的卵块产入瓦缸的土中,瓦缸的直径为28厘米,高22厘米(图2),幷在一条流入微山湖的小河中浸水。浸水的蝗卵在水中經过长短不等的时間,然后将容器从水中取出,放在地面使容器中土壤的湿度回归正常,这时借着或等待自然环境中适宜于胚胎发育的温度进行孵育,幷观察各容器中能否孵出蝗蝻;当其不能孵出时傾出容器中的土壤,检查其中蝗卵是否确已死亡。所用卵块数共800块以上。

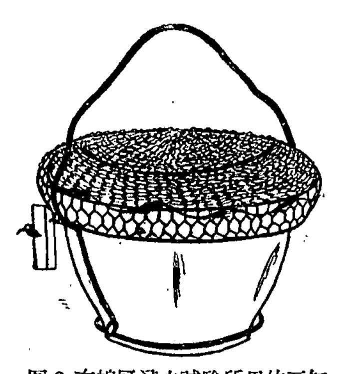


图2 在蝗区浸水試驗所用的瓦缸

表5列出1953年和1954年夏季在水坑和小河中进行浸水的結果。試驗在6、7、8三个月中进行,当时的气温在中午为25—35℃,坑內水温自21—34℃。由此可見夏蝗所产卵在上述情况下浸水,水深自0.2—1.0米,經30天以上便全部死亡。

表6列出在湖中浸水的結果。試驗在1953年7—8月及10月至次年5月中进行,第二批蝗卵产下后在孵育期的气温在中午平均为25℃左右,湖水温度在整个試驗中为4°

—25℃。由此可見秋蝗所产卵在水中經 1 月仍可孵化，浸水延长到明春，水退后仍可有部分蝗卵孵化。

表 5　1953—1954 在微山湖边以不同發育期蝗卵浸水 30 天后的結果

浸水处	年　　月	水深(厘米)	蝗卵在浸水前的孵育天数*	卵　块　数	浸水后有无孵化 +=有；-=无
湖边用人工挖成的水坑中	1953,6—8	100	1—5 5—10 10—14	8 7 12	— — —
	1953,6—8	80	1—5 5—10 10—14	8 10 15	— — —
	1953,6—8	60	1—5 5—10 10—14	11 12 18	— — —
	1953,6—8	40	1—5 5—10 10—14	8 15 10	— — —
	1953,6—8	20	1—5 5—10 10—14	9 10 13	— — —
流入湖的小河流中	1954,7—8	80	2—5 5—8 7—12	9 9 9	— — —
	1954,7—8	40	1—5 3—6 6—11	10 9 6	— — —

* 此系在当时的气温条件下（微山湖 7 月份每日的平均温度 1953 年和 1954 年分别为 29° 和 25°C）卵产入容器內土中后所經天数。据1953年对于当时其他卵块的观察，产卵后經15天能孵出跳蝻。

表 6　1953—1954 年在微山湖內以不同發育期蝗卵浸水的結果

年　　月	湖水深(厘米)	蝗卵在浸水前的孵育天数*	卵块数	浸水天数	浸水后卵块的死亡百分率
1953,7—8	160	1—5 5—10 10—14	50 48 66	30 30 30	100 100 100
1953,10至1954,5	自160下降为10	1—5 5—10 10—14	31 59 67	240 240 240	50 80 60

* 此系在当时的气温条件下(微山湖 1953 年 7 月和 10 月的每日平均温度分别为 29° 和 19℃)卵产入容器的土中后所經天数。

表 7 列出 1954 年夏季在湖旁河中(此河叫大沙河，試驗地点离湖水約 800 米)浸水試驗的結果。小河在 6—7 月份水温变迁的范围自 24℃ 到 30℃。这表明蝗卵在夏季浸水，若为期短暂，其中可以有一部分卵不致死亡。

在 1954 年曾收集微山湖滨飞蝗，在 1953 年秋季所产下的越冬卵块，在 5 月初旬放入

表 7 1954年7—8月在微山湖边小河中以不同發育期蝗卵浸水的結果

蝗卵在浸水前的孵育天数*	卵块数	河水深(厘米)	浸水天数	浸水后卵块的死亡百分率
1—5	10	5	5	100
5—10	8			0
10—14	7			30
2—5	6	40	15	88
5—8	9			20
2—5	8	80	15	100
6—8	7			0
6—11	14			62.5

* 此系在当时的气温条件下卵产入容器的土中后所經天数(微山湖1954年7月的每日平均温度为25°C)。

河中浸水,水深为40厘米,到6月初旬历时30天后取出,在当地气温条件下孵育,見未能孵出跳蝻,經检查見卵块已全部死亡。1955年5月在洪泽湖以越冬的蝗卵浸水,到6月中旬止历时45天,据检查結果发現卵块也全部死亡。

在野外的試驗中我們注意到經浸水的蝗卵虽可不死亡,但其孵化日期有一定的延迟。例如在7月間观察在湖滨所产下的卵块可經15天孵化,而在浸水前孵育5—8天的卵块經浸水15天后取出,須經22天方能孵化。

此外,在北京我們也进行了野外的浸水試驗。将在养虫箱中所获得的完整卵块放在置有砂壤土的磁鉄缸中,先在30°C中孵育自3天至7天不等,在11月上旬放入一小池塘中,水深約1米左右,到次年7月中旬和8月中旬取出,蝗卵在水中經9—10月,水温自冰点以下到25°C以上,經检查見卵块已全部死亡。

以上試驗的結果表明:在蝗区自然情况下夏蝗所产卵在6、7、8月份浸水,若时間在1个月以上的便不能孵化;若浸水期在15天左右,蝗卵仍可孵化,但以在发育中期的卵死亡率最低。水的深度也有关系,一般是比較深的死亡率較低。秋蝗所产卵在9、10、11月份浸水1月,对死亡率的影响极小。在秋季較早浸水的蝗卵在水中可經8个月,到次年5月間,仍可有半数以上的卵块孵化。但越冬卵块若在次年5月間胚胎已开始継續发育时

表 8 几种蝗虫卵經浸水后的孵化情形

种类	浸水前在30°C恒温中孵育日数	水温(°C)	浸水日数	有孵化(+)或卵已全部死亡(−)
东亚飞蝗 *Locusta migratoria manilensis*	6	30	60	−
黄脊蝗 *Pantaga japonica*	25	30	62	−
笨蝗 *Haplotropis brunneriana*	30	30	63	−
小車蝗 *Oedaleus infernalis*	61	30	61	+
稻蝗 *Oxya chinensis*	21	30	61	+
稻蝗 *Oxya chinensis*	21	30	145	−

浸水，經 1 个月卽不能孵化。越冬蝗卵如在水中为时較长，并經过夏天比較高的溫度时也不能孵化。

飞蝗卵虽在較高溫度水中浸到 1 月时不能孵化，但其他蝗类卵卽可有較大的耐忍能力。表 8 列出几种蝗类卵經浸水后孵化的情形：飞蝗、黄脊蝗、苯蝗的卵在溫度为 30℃ 的水中浸到30天后全部死亡，小車蝗和稻蝗的卵在此情况下仍能繼續生存。所以，不同蝗类的卵在較高溫度浸水时其存活能力可有所不同。

（三）不同发育期蝗卵在浸水时生活能力的差异

Remaudiere 記載产后 24 小时的蝗卵在室溫浸水和在发育晚期的蝗卵在較高溫度浸水时均易死亡[4]。由我們的試驗結果可以看出不同发育期蝗卵在水中的胚胎发育和死亡率各有不同；为了进一步了解在不同发育期的蝗卵浸水时生活能力的不同，我們在实驗室中进行了如下的試驗：将从养虫箱中所获得的蝗卵在 30℃ 恆溫箱中孵育到一定天数；以同一卵块的卵粒，一部分仍在 30℃ 中孵育作为对照組，另一部分放在注有自来水的玻璃培养皿中在 30℃ 浸水，水深約 2 厘米；經 5 天或 10 天后取出，把未破碎的卵粒放在湿潤的滤紙上，仍在 30℃ 孵育，記載能孵化的卵粒数，由此計算不同孵育天数經浸水后的死亡百分率。

試驗結果繪成图 3。原在 30℃ 孵育到 12 天以后的蝗卵在水中极易破裂，故在图中不放入。将卵粒从卵块分出在湿潤滤紙上孵育时有一部分死亡；試驗表明在原来孵育到第 4 天以前的死亡率較高，最高的可达 39%；在 4 天以后的死亡率較低，多数在 10% 以下。这可能在把卵粒分散时所引起的損伤所致。浸水 5 天后的卵粒表明从孵育 4 天的开始，到孵育第 10 天的为止，卵粒的死亡率一般均不超过 40%，在此孵育期前后，其死亡率均在 60% 以上。浸水 10 天的卵粒同样表明孵育第 4 天到第 10 天的卵粒死亡率較低，一般不超过 70%，但在此前后的卵粒死亡率均超过 80%。我們若把孵育到晚期的卵粒因損伤所造成死亡較少的因素考慮在內时，可以看出原来孵育到 10 天以后的卵粒，其死亡率特别高。

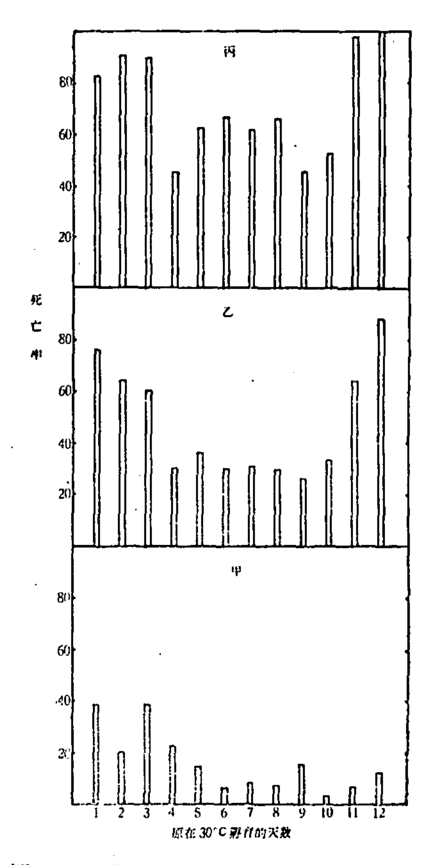


图 3　不同发育期蝗卵在 30℃ 浸水 5 天和 10 天后死亡率的比較
甲、对照（未浸水，在湿潤滤紙上孵育）；乙、浸水 5 天；丙、浸水 10 天

不同发育期的蝗卵在卵包膜的构造上有显著的不同，同时耗氧量的大小也各有异[1]。当蝗卵在 30℃ 孵育到第 4 天时卵包膜中产生了浆膜表皮，这一次生的保护构造对于蝗卵的耐干能力上有很大的重要性[3]，当孵育到第 10 天以后此层表皮受消化而消弱，其保护作用也減低。本試驗的結果頗与符合。其次，孵育到晚期的蝗卵其耗氧量大为增加，在浸水的情况下由于水中的含氧較低，故易于死亡。由此我們可理解为何在孵育初期和晚期

的蝗卵浸水时其死亡率較在中期的高，而接近孵化的其死亡率最高。

（四）蝗卵在水中的呼吸作用

关于东亚飞蝗卵在孵育时呼吸量的变化，我們在前文已有叙述。水中的含氧量常因水的深度、温度、和流动情形等不同而有区别；一般来講，氧在水中的分压常較在空气中的小。因此，蝗卵在水中时在呼吸量方面的变化是很值得我們注意的。作者等在本工作中曾用 Warburg 气压計測定孵育期不同的蝗卵浸水时耗氧量的改变，并与在湿潤濾紙上孵育的蝗卵加以比較，今把結果叙述如下。

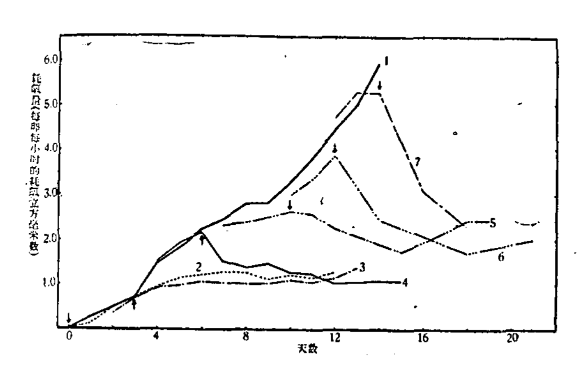


图 4 蝗卵在适宜环境中孵育（1）和孵育到一定天数后浸水时呼吸量的改变。2.产卵后当天浸水的；3.在 30°C 孵育到 3 天浸水的；4.在 30°C 孵育到 6 天浸水的；5.在 30°C 孵育到 10 天浸水的；6.在 30°C孵育到 12 天浸水的；7.在 30°C 孵育到 14 天浸水的(箭头指出浸水开始的日期）

图 4 表明不同发育期蝗卵在 30°C 恆温浸水时耗氧量的改变，所用的蝗卵依在 30°C 孵育天数的不同，分为产后当天浸水的、孵育到第 3 天浸水的、到第 6 天浸水的、到第 10 天浸水的、到第 12 天浸水的、到第 14 天浸水的等 6 种；所用卵的总粒数依次为 260（6 卵块）、260（5 卵块）、230（7 卵块）、200（7 卵块）、180（5 卵块）、120（4 卵块）。由于在浸水期間蝗卵陆續有破裂和死亡，所以在每次測定之間卵粒的数目有所变动。浸水的天数，在最前 2 种发育期卵依次为 12 天和 10 天，孵育到 6、10、12 天的卵为 9 天，孵育到 14 天的卵因卵将孵化，在水中陆續有破裂，所以只浸 4 天。每一气压計所測定的卵粒数自 3 到 40 个不等，但最常用的为 10 到 20 个。浸水是在玻璃培养皿中进行的，所用水为自来水，水深为 2 厘米左右。

試驗的結果指出产后当天浸水的和孵育到第 3 天浸水的卵，在水中其呼吸量仍能逐日增加，但其数值比在湿潤濾紙上孵育的蝗卵低。这同时也說明在孵育初期的蝗卵浸水时胚胎的发育为何能有較多的进展（表 1）。孵育到 6 天和 10 天的蝗卵浸水后呼吸量下降，孵育到 12 天和 14 天的卵浸水后呼吸量下降最大；这也表明浸水对胚胎的发育是有抑制的作用；因此，在孵育中期和晚期的卵浸水后，胚胎发育的进展較为緩慢。从图 4 可以看出孵育到第 10 天和 12 天的蝗卵在浸水后呼吸量先下降，当时間延长又漸上升，这可能表明蝗卵在水中能有适应性，或者胚胎发育已再进行，因而必須消耗較多量的氧气。

图 5 表明数組孵育天数不同的蝗卵浸水 9—10 天后取出，重新在湿潤濾紙上孵育时呼吸的变化。由此可見无論是在初期、中期和晚期的蝗卵，在浸水时呼吸虽受到抑制，但当从水中取出重行孵育时耗氧量有明显的增加，并且和在将行浸水时的比較可显示較高，

这很可能是卵在水中胚胎发育已有所进展，而在适宜环境中重新开始胚胎发育所有的結果。

此外，我們曾以产后在 30°C 中孵育到 5 天的完整卵块在室温 24—27°C 浸水，在浸水后 7、14、21、和30天取出一部分卵块，选择其中似未死亡卵粒分組测定其耗氧量，結果繪成图 6。从图 6 可以看到蝗卵在此种比較长期的浸水情况下呼吸量一般有下降的趋势。在浸水前各組卵之間有較大的差异；当时的室温比較高，根据以前观察的結果（图 3 及表 2），我們假定本試驗中有半数以上的卵粒浸水到 10 天左右已告死亡；而被选择来做测定的、并且有較大呼吸量的可能最能适应水中生活的一部分卵粒。浸水到第 7 天和第14天的蝗卵，在分組测定时其呼吸量比較接近；但到第21天的蝗卵其耗氧量的范围变化較大，推其原因，可能是其中虽有一部分卵已瀕于死亡，但另一部分卵由于具大的适应能力，在水中可进行不同程度的胚胎发育（表 1），所以它們的耗氧量仍是比較高的*。

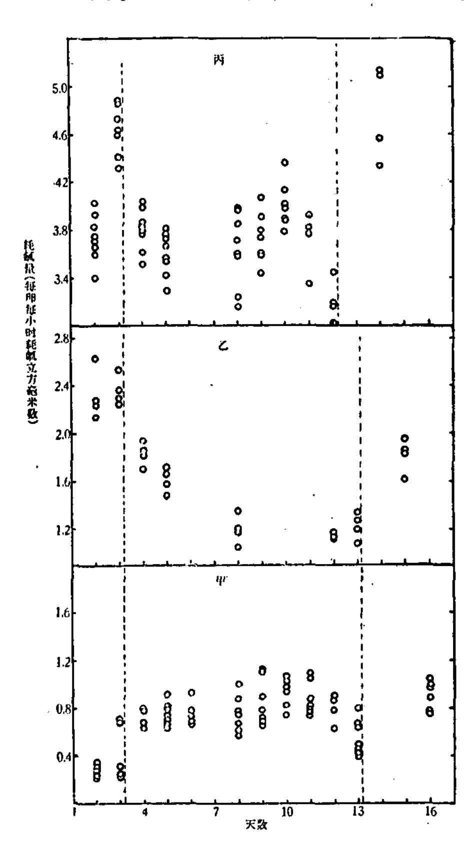


图 5　不同发育期蝗卵浸水 9—10 天（从左虛綫开始，右虛綫結束）后，取出重在 30°C 孵化的耗氧量变化
甲、原在 30°C 孵育 3 天后浸水；乙、原在 30°C 孵育 6 天后浸水；丙、原在 30°C 孵育 10 天后浸水

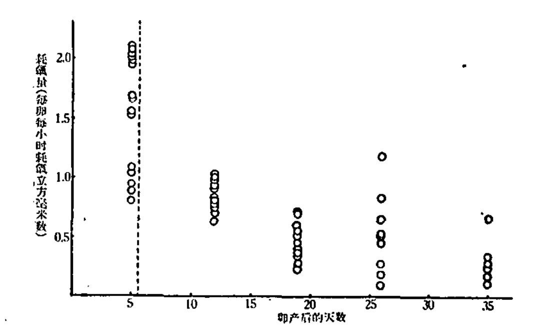


图 6　蝗卵在 30°C 孵育 5 天后在室温浸水（从虛綫开始）在水中呼吸的改变

（五）水中含氧量对蝗卵死亡率的影响

水中空气的含量，一般决定于空气組分在当时的溶解分量，而后者又决定于該气体成分在水中的附吸系数，当时在水面分压的大小、温度、水的含盐量、以及水中能利用与排除該气体成分生物的存在与否等因素。当其他情况相同，氧、氮和二氧化碳气 3 种气体成分在水中的溶解度氧为氮的二倍，而二氧化碳气約为氧的 35 倍。在大气中此数种气体成分所占的体积百分比不同：氧約为 21%，氮約为 78%，而二氧化碳气仅为 0.03%；它們在大气中所占分压大小也以此为比例。由于各气体在水中的附吸系数不同，在溶解于水的空气中氧所占体积約 35%，氮的便相应地降低。当大气压为 760 毫米汞柱高时，氧的

* 浸水較久的蝗卵在卵粒內外是否有細菌等微生物的存在，因此影响所测定耗氧量的因素未能确定。

分压按比例为159毫米汞柱高，当温度为 0 、10、15、20、30℃ 及 37℃ 时氧在每升水中所溶解的立方厘米数按次为 10.27、7.98、7.17、6.51、5.48 及 5.01。当水中含有盐分时，氧的含量便相应地减少，例如水中含有2％的氯化鈉，当温度为 10℃ 或 30℃ 时每升水中含氧的立方厘米数便从 7.98 或 5.48 下降为 6.35 或 4.46。

蝗卵在浸水时須仗气体的扩散作用来摄取呼吸所需的氧气，和排除所产生的二氧化碳气。設其他情况相同，二氧化碳气在水中的溶解量及其在动物組織中和水中的扩散速度均較氧大，所以在其排除的过程中困难較小。因此，蝗卵在水中是否能进行正常的呼吸作用与水中含氧量的高低便有很大的关系。蝗卵旣借扩散作用以摄取溶于水中的氧，在此过程中卵內外氧分压差的大小便有决定性的意义。根我們的测定[2]，产后在 30℃ 孵育 1 、6 和14天的蝗卵，每卵每小时的耗氧量按次为 0.24、2.18 和 5.91 立方毫米，折算成每克卵在每分鐘的耗氧量按次为 5.7×10^{-4}、26.9×10^{-4} 和 66.0×10^{-4} 立方厘米。設卵在水中进行呼吸时在卵外面所需的氧分压为 C_0，那么

$$C_0=\frac{Ar^2}{6D}$$

其中 A 为耗氧量(立方厘米/克/分鐘)，r 为卵半径(厘米)，D 为氧的扩散系数，后者当温度为 20℃ 时其数值在水中为 3.4×10^{-5}，在肌肉中为 1.4×10^{-5}，在几丁质中为 1.3×10^{-5}[6]。这公式也表明要使卵內部各处在某种耗氧率下能获得充分氧供应时，卵外环境中必須具有的氧浓度。蝗卵外面有卵包膜包围，在孵育初期卵黃占卵体积的极大部分，当胚胎逐漸发育时卵黃的含量相应地減少，胚胎的組織相应地增加。氧在卵黃中的扩散系数曾被估計为在水中的 10 倍[6]，但在卵包膜和胚胎組織中的数值未被测定过；此外，当蝗卵在浸水时氧固然以溶于水中的状态进入卵內，但其詳細的途径和机制尚未查明，因此 D 的数值目前难以确定。設 D 值在各发育期的蝗卵中大致相等，并且其倒数为 K，那么 $C_0=\frac{Ar^2}{6}\cdot K$，由可求得不同发育期蝗卵在水中进行呼吸时，在卵外面所需氧分压的相对值。从已有的資料(产后在 30℃ 孵育 1 、6 和 14 天蝗卵的 A 值按次为 5.7×10^{-4}、26.9×10^{-4} 和 66.0×10^{-4}，r 值按次为 0.055、0.075 和 0.081 厘米)可計算出产后在 30℃孵育 1 、6 和14天蝗卵在水中呼吸时所需氧分压按比例为 1:8.8: 25.1。在同一温度下水中所含氧的量与其分压成正例，由此可見，要使蝗卵在水中进行正常呼吸时对已在发育中期的蝗卵必須比对初产卵含氧量高 8.8 倍，对将行孵化的蝗卵必須比对初产卵的高 25.1 倍。

蝗卵在自然情况下外围有胶囊包围，此胶囊由附腺分泌，系一种蛋白质的物质組成，其质松軟，并且含有大量的空泡。当卵块在浸水时此种胶囊对卵呼吸所起的作用尚未查明；可能原在空泡中的空气紧貼在卵粒外面，其作用有如某些水生昆虫由体表毛状突起所形成的"气盾"。此外，卵块原产在土中，浸水后其周围湿土中的气体含量与水中气体含量有何不同也未查明。

为了明确水中气体含量对浸水蝗卵死亡率的影响，我們曾进行二项試驗工作，今分述如下。

第一项試驗用产后在 30℃ 孵育 3 、6 、10 天和 13 天的蝗卵，依发育期分組，每組再分为三部分：第一部分的蝗卵用自来水在 30℃ 恆温浸水 5 天，浸水前后均用 Winkler 方

法[1]测定水中的含氧量。浸水完毕后把卵粒放在湿潤的滤紙上孵育并記載孵化的日期和幼蝻的数目，从而計算卵的孵化百分率。第二部分的蝗卵也用自来水在 30℃恆温浸水，但先用打气机打气 1 小时，然后用 Winkler 方法测定其中的含氧量再放入蝗卵；以后每天打气 1 小时，并在打气前后各用 Winkler 方法测定其含氧量一次，經过 5 天后取出蝗卵，并以第一部分相同的处理求得其孵化百分率。第三部分蝗卵不浸水，只放在湿潤滤紙上在 30℃ 恆温孵育以作比較。

表 9 列出此項試驗的結果。这項試驗是在冬季进行的，在試驗室情况下飼养的飞蝗所产卵此时孵化率一般較低，所以表 9 中所列出的数值只有相对的意义。从表中可以看出水中的含氧量显然对浸水蝗卵的孵化率有影响，这种影响的大小随蝗卵的发育期而不

表 9　不同發育期蝗卵在不同含氧量水中(水溫为 30℃)浸水 5 天后的孵化率比較

蝗卵发育期	卵粒总数	水中通气情形 A＝每天打气 1 小时 B＝不打气	水中平均含氧量								孵化率 (%)
			蝗卵浸水前		蝗卵浸水后		打气后		打气前		
			c.c./l	mg/l	c.c./l	mg/l	c.c./l	mg/l	c.c./l	mg/l	
3 天	490	A	—	—	—	—	8.225	11.750	5.108	7.297	32
	450	B	6.229	8.899	4.607	6.581	—	—	—	—	15
6 天	500	A	—	—	—	—	7.865	11·235	3.986	5.694	68
	500	B	6.110	8.729	3.131	4.473	—	—	—	—	60
10 天	540	A	—	—	—	—	8.498	12.140	4.361	5.230	73
	500	B	6.787	9.696	4.185	5.978	—	—	—	—	29
13 天	400	A	—	—	—	—	7.704	10.573	3.760	5.371	22
	390	B	6.360	9.085	2.713	3.875	—	—	—	—	0.5

同。在蝗卵浸水前自来水的含氧量变化較大，平均为每升含氧 6.37 立方厘米，打气后的自来水中含氧量一般到达过飽和状态，并且变化較小，平均为每升含氧 8.073 立方厘米。由所测定数值也可看到发育到晚期的蝗卵在水中摄取較多的氧气，同时水中含氧量对其以后孵化率的影响最为明显。就本試驗的結果可以看出对原来孵育到13天的最大，10 天的次之，3 天的又次之，6 天的最小。原在第 6 天发育期的蝗卵由于卵包膜的保护作用比較发达，故在浸水时水中含氧量的影响不明显，可能也与此有关。由各組卵幼蝻孵化的日期来看，浸水蝗卵的孵化期与对照組比較时均有延迟，但打气与不打气的区别不明显。

第二項試驗是在实驗室情况下测驗静水和流水对蝗卵在浸水时死亡率的影响。本实驗在冬季进行，所用的是自来水。图 7 表明此实驗的装置，*A* 和 *B* 是大型的过滤瓶，容量各为 5 升，下半截放入埋有卵块的泥土；*C* 和自来水龙头相接，是进水的地方，*D* 和 *E* 是橡皮管夹，可調节自来水进入瓶中的流量，*F* 是出水的地方。試驗时瓶內土中各埋入 20 块

1) Winkler 测定水中含氧量的方法是在已知体积的水中先加过量的 $MnCl_2$ 溶液，再加过量的 Winkler 試剂 (KOH+KI)。$MnCl_2$ 和 KOH 生成 $Mn(OH)_2$，后者又与水中的 O_2 生成 $Mn(OH)_3$ 的沉淀。等待数分鐘使沉淀下降，然后加过量的浓盐酸使沉淀溶解。这时 $Mn(OH)_3$ 还原为 $Mn(OH)_2$，而使 KI 中的碘离子氧化为 I_2。所放出 I_2 的量与水中的 O_2 成正比，用 $Na_2S_2O_3$ 的标准溶液滴定 I_2，从所需 $Na_2S_2O_3$ 的体积可以計算出水中的含氧量。

在用 Winkler 方法测定水中含氧量时記載了当时的水温。一般在浸水前的水温即当时的自来水温度，約为 11—13℃。浸水后系由 30℃ 恆温箱中取出，故水温約为 28—29℃。

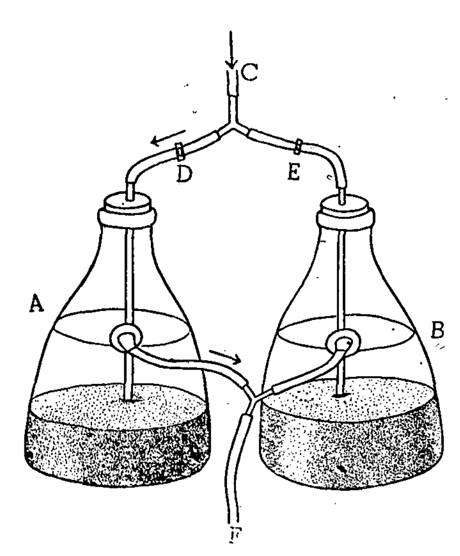


图7 測定蝗卵以靜水和流水浸水时对死亡率影响的裝置

相当于在30℃孵育6天的蝗卵，徐徐由C引入自来水，实驗期間水温变迁于8—16℃之間。在通水一定时間之后E夹是关紧的，这使B瓶中的水流陷于停頓，D夹的大小調节到一定程度，使A瓶中的水流大小相当于每分鈡为200毫升，浸水共經54天，然后把土中卵块取出，把卵块內未敗坏拣出，放在湿潤滤紙上在30℃孵育，幷記录幼蝻孵化的日期和个数，从而計算孵化百分率。共进行了2次試驗，第1次为1955年11月1日到12月24日，第2次为1956年1月12日到3月6日。表10列出試驗的結果。以整卵块浸水时卵块內常有一部分卵粒在浸水后敗坏特甚的，它們分散在卵块的不同部分，系原已死亡的（例如未受精卵或产后未經发育已死亡的卵），或因試驗操作中受到損伤而在浸水期間死亡的，检查蝗卵在浸水后死亡率时，这部分除去一般不会影响試驗的准确性。从表中可以看出在流水中浸水的蝗卵孵化率較在靜水中的高。蝗卵在浸水时虽埋沒在土內，但也可因流水和靜水含氧量的不同而影响蝗卵的死亡率。靜水中和流水中的含氧量未曾测定和比較，可以想象在玻瓶中靜置54天的水中，因微生物及蝗卵本身的呼吸作用含氧量是在逐漸減少的，而通有水流的玻瓶中水的含氧量因在不断更新，一般比靜水的高（据以 Winkler 方法測定平均每升水中含氧6.37立方厘米，等于9.1毫克，見表9）。

表10 蝗卵在靜水中和在流水中浸水时死亡率的比較

組別（浸水日期）	水的情况		蝗卵发育期		检查卵数	孵化天数（30℃孵育）浸水后在	孵化率（%）
	靜水或流水	水温范围（℃）	浸水前	浸水后			
I（自1955年11月1日到12月24日）	靜水	8—16	中期（胚胎期X）	与浸水前同	575	10天—18天	24.8
	流水	8—16	中期（胚胎期X）	与浸水前同	300	10天—18天	55.3
II（自1956年1月12日到3月6日）	靜水	5—12	中期（胚胎期X）	与浸水前同	519	9天—16天	40.5
	流水	5—12	中期（胚胎期X）	与浸水前同	422	9天—16天	57.0

四、討論

东亚飞蝗旣喜生长在长着禾本科杂草的低洼地区，幷且，蝗卵旣常有机会受到水淹，那么浸水对蝗卵胚胎发育和死亡的影响的問題，无論在实际应用上和在理論上均有重大的意义。这些問題的解决可提供解释飞蝗发生数量消长和时間早晚的理論根据，在对飞蝗的預測和防治方面都很重要。

当温度适宜时在不同发育期的蝗卵在水中可进行不同程度的胚胎发育，幷可在水中生活到长短不一的时間；这在一方面旣表明水中的环境对于习常在土壤中生活的虫期幷

非絕不适宜，在另一方面也表明蝗卵本身对外界环境的改变能有相当大的适应能力，而且这种适应能力因卵本身的发育期而有差别。就蝗卵而言，当其在水中时所感受到的影响，除了其中含氧量較在多空隙的土壤中为低外，还有静水压力和水的穿透作用(Penetration)；蝗卵外面原来既有多孔而质軟的胶囊包围和保护，水深时所造成静水压力本身的作用，可能只表現于穿透作用方面，而这种作用所发生效应的大小，須視卵包膜的分隔作用和坚韧程度而定。发育早期蝗卵的卵包膜构造簡单，其所包括的卵壳和卵黄膜二部分都比較脆弱，它們一方面不足抵御卵外水分向卵內的穿透作用，另一方面又經不住因水分进入卵內所造成的膨压，在水中的卵粒因此时常可被过多的水分透入，造成破裂，或者卵內原有的有机結构或成分遭受破坏，促使卵內含物的变质或凝結；初产卵在水中常大量死亡，其原因似乎卽在于此。发育中期蝗卵的卵包膜在卵黄膜下形成了浆膜表皮，这种次生的保护构造比較坚韧，很明显地能經受得住較大的膨压，并且能够有效地抵制过多量水分的渗透作用，因此使卵免受水的物理性損害。发育到晚期的蝗卵由于浆膜表皮的消弱，在水中也易于破裂，这时胚胎已完成对卵黄的包围，并在体壁形成表皮，这种外形完整的胚胎在水中卽使能脫离卵包膜，但极易溺毙。其次，水中的含氧量較低，并且和溫度的高低成为反的相关，但是蝗卵的耗氧量卽与溫度成为正的相关。在普通的溫度下水的含氧量虽能滿足发育早期蝗卵呼吸的需要，或勉強也能維持发育到中期蝗卵的需要，但对发育到晚期的蝗卵来誁是絕对不够的。不同种类昆虫在氧气缺乏的情况下能忍耐的能力各有不同，蝗卵在乏氧环境中的生活能力固然应該进一步研究，但在溫度較高时水的含氧量降低，穿透作用加強，而蝗卵的发育变快，耗氧量增加，这时水中环境的不利影响是显而易見的。作者等曾观察到在 30℃ 水中发育到将行孵化的蝗卵中的胚胎特点，原来应呈黑色的斑紋此时呈紅色，如果把此种卵从水中取出在空气中放置 1 小时左右，便可見此种斑紋轉变成黑色。昆虫体內黑色素，色原体在酪氨酸氧化酶的作用形成黑色素时需有氧参加，浸水蝗卵的胚胎体斑紋經久保持紅色，乃是表明水中含氧少，氧化作用无法进行。

根据以上所述，我們可以了解为什么在发育中期的蝗卵最能适应水中的环境，在浸水时死亡率最低，而在发育初期和晚期的蝗卵适应水中生活的能力薄弱，浸水时死亡率高或极高的原因。蝗卵在自然情况下是以在发育中期的阶段越冬的[1]，此时它們有比較发达的保护构造，在水中不易死亡，表明了蝗卵对环境适应的最重要的一方面。根据法国 Remaudiere 的观察，适在休眠期的 *Locusta migratoria gallica* 的卵卽使在溫度为 30℃ 的水中浸至 60 天，当其回复到适宜的环境中孵育时仍可有幼蝻孵出。我們以东亚飞蝗所得的結果与此不同：发育到中期的卵在 30℃ 的水中浸水时其有活期不会超过 30 天。推其原因在乎东亚飞蝗的卵无休眠現象，在 30℃ 这样較高溫度的影响下卽使在水中也能进行胚胎发育，以致造成卵从适应能力最高的中期发育阶段进入适应能力轉弱的晚期阶段，脫离其最有效的保护和适应机制而告死亡。反之，我們的試驗証明正在休眠阶段的小車蝗和稻蝗的卵在 30℃ 水中能够生活到 2 个月的时間，情形和 *Locusta migratoria gallica* 类似，原因似乎也在于这类卵因有休眠而停止发育，在溫度較高的水中仍长期保留其有效的保护和适应机制之故。因此也可見到东亚飞蝗的卵对水中生活的适应性由于无休眠期而減弱。

蝗卵經浸水后当回复到适宜环境中孵化期的延长因何而起目前頗难断定，一般似乎在浸水时水中因氧缺乏等环境所产生的不良后果，需要一定时間方能恢复，这在发育到中

期和晚期的蝗卵中特别明显。有休眠期的蝗类的卵一般当胚胎发育到完成反向移动时进入休眠，我們試驗的結果表明东亚飞蝗的卵当发育到中期經較长时間的浸水，然后回复到适宜环境孵育，幼蝻的孵化期有时可延长到数月之久，这表明蝗卵在此胚胎发育阶段能够长期滞育。东亚飞蝗的卵虽无眞正的休眠現象，但这一特性仍然保持，在自然情况下能够延长飞蝗出現的时間，其意义值得重視的。

从蝗卵在浸水前后耗氧量变化的曲綫来看，显然可見，除在发育初期的蝗卵（图 4，产后当天浸水的和产后在 30°C 孵育到 3 天的）外，其他发育期蝗卵在浸入水中之后耗氧量立刻有显著的下降。发育初期的蝗卵原有的耗氧量低，当浸入水中后仍能利用溶于水中的氧保持原有的呼吸量，并且在以后略有所提高，但比在适宜环境中发育的卵要低得多。这时是可以进行胚胎发育的。发育到中期和末期的蝗卵在水中經过一定的时間（約为 5—6 天），呼吸量也可略有提高，可能表明这时它們已能較好地适应水中生活，或者胚胎发育期已向前推进。蝗卵在不适宜的环境中其呼吸机制在生理上的适应性值得进一步研究。

根据本工作的結果，可見影响蝗卵浸沒在普通淡水中死亡率的环境因素中，其作用最显著是水的含氧量和水温，而前者复受到后者的影响。因此，在自然情况下蝗卵浸水时季节的因素十分重要：在冬天水温較低时蝗卵在水中虽可生活到数月之久，但在夏季水温較高时蝗卵的死亡率高。所以蝗卵长期浸在水中的情况下不能渡过夏天，这也說明蝗卵在水中可活到数年之久的传說是和我們的試驗証据不相符合的。

五、总　　結

东亚飞蝗的卵不論原来在何种胚胎发育期，当温度适合时在水中均可进行胚胎发育，但其进展的程度可因发育期及个体差异而有所不同。一般來講，原在发育初期的較原在发育中期和晚期的能有較大的进展。

在发育早期的和接近孵化的蝗卵，在水中易于破裂和死亡，所以如此的原因在发育早期的蝗卵是由于卵包膜的初生保护机构比較脆弱和不能抵御水的过分穿透作用，在接近孵化的蝗卵是由于卵包膜的次生保护机构为准备幼蝻的孵化而消弱，同时胚胎的呼吸量比較高，水中的氧分压已不足維持正常的呼吸作用所致。在水中脫离卵包膜的幼蝻一般总被溺毙。

发育到中期的蝗卵由于在卵包膜中形成了充分发达的次生保护机构，并且耗氧量比发育到晚期卵的低，所以比較能适应水中的环境。蝗卵适在胚胎发育到完成反向移动时越冬，这时对水的抵抗力最強。接近孵化的蝗卵对浸水的抵抗力最弱。不論在何种胚胎发育期的蝗卵，經浸水后回复到适宜环境中孵育时幼蝻的孵化延迟，这在发育到中期的卵中可长达数月之久。

东亚飞蝗卵由于无眞正的休眠現象，在温度为 30°C 的水中不能活过 30 天，这和 *Locusta migratoria gallica* 不同，所以如此的原因在于前者卽使在水中仍能进行胚胎发育，因此不能比較长期地保住原在发育中期时比較更有效的保护和适应机制之故。

除了蝗卵本身的发育期之外，影响其在浸水时死亡率的因素，最重要的是水中的含氧量和水的温度。在自然情况下，抵抗力最強的蝗卵在冬季浸水时由于温度低，水中含氧量

比較高，卵的呼吸作用比較弱，可以活到 7—8 月之久，但在夏季由于溫度的改变，蝗卵无法长期适应水中生活。至于蝗卵在水中可活到数年之久的传說是和我們的試驗証据不相符合的。

参 考 文 献

[1] 欽俊德等：1954. 蝗卵的研究 I. 亚洲飞蝗蝗卵孵育期中胚胎形态变化的观察及野外蝗卵胚胎发育期的調查。昆虫学报 4 (4): 383—398。

[2] 欽俊德等：1956. 蝗卵的研究 II. 蝗卵在孵育时的变化及其意义。昆虫学报 6 (1): 37—60。

[3] 欽俊德：1958. 蝗卵的研究 III. 蝗卵的失水及其耐干能力。昆虫学报 8 (3): 207—225。

[4] Remaudière G: 1948. Sur la resistauce des oeufs de *Locusta migratoria* L. ssp. *gallica* Rem. (phase grégaire) au Froid et a l'immersion. *Rev. de Path. vég. et d'Ent. Agric. de Fr.*, T. XXVII, fasc. 1, pp. 25—34。

[5] Slifer. E. H.: 1949. Changes in certain of the grasshopper egg coverings during development as indicated by fast green and other dyes. *J. Exp. Zool.*, **110**: 183—204。

[6] Tuft, P. H.: 1950. The structure of the insect egg-shell in relation to the respiration of the embryo. *J. Exp. Biol.*, **26**: 327—334。

[7] Шумоков, Е. М. и Л. А. Яхимович 1950. Особенности эмбрионального развития азиатской саранчи (Locusta migratoria L.) в связи с некоторыми условиями внешней среды. *Зоол. Журнал.* 29 (4): 327—340。

STUDIES ON THE LOCUST EGG IV. THE SURVIVAL AND EMBRYONIC DEVELOPMENT OF THE LOCUST EGG UNDER WATER

CHIN CHUN-TEH, QUO FU, CHAI CHI-HUI & SHA CHA-YUN

(*Institute of Entomology, Academia Sinica*)

It is well known that the oriental migratory locust is used to breed in the waste drained river beds and the low lands adjacent to lakes and sea shores. When the water levels of the water bodies become raised in the autumnal months, these places would get overflooded; and the egg-pods which have been laid in these places are then subject to submersion for various lengths of time. The present work was carried out in the field as well as in the laboratory, with the view to clarifying what effects of immersion will have on the embryonic development of the eggs and how long they can survive under water.

Laboratory study showed that eggs in different developmental stages all could continue embryonic development under water so far as the temperature remained suitable. Aside from the individual difference which appeared to be considerable in the present study, the extent of development to which the eggs would proceed varied with the original developmental stages. It was seen that eggs originally in the early stages could develop better under water than those which were in the later stages. Eggs belonging to the former categories might absorb water and form serosal cuticle in the immersed condition. Some of the newly-laid eggs and the eggs containing fully-developed embryos would burst under water; but the half-developed eggs would never do so. This phenomenon is explained on the basis of the changes in the egg coverings as development proceeds. The newly laid eggs only possess the primary protective structure; thus sometimes they cannot withstand the superfluous penetration of water into the eggs. In the half-

developed eggs, very effective secondary protective structure has been formed; and thus the eggs can resist the penetration of water very well. Eggs containing mature embryos unexceptionally have their serosal cuticle partially digested to facilitate the hatching process; and they thus can break easily under water. The mature embryo thus released into water will soon be drowned. The adverse effect of immersion manifests in the delay of embryonic development when the eggs are restored to favorable environment for incubation.

The capacity of the eggs to survive immersion is considered to be dependent upon the following factors: (1) the developmental stages of the eggs; (2) the lengths of time immersed; (3) the temperature of the water; and (4) the gaseous contents of the water. In the laboratory, the most resistant stage was ascertained to be the half-developed eggs with their embryos just having completed anatrepsis. It is thought that their greater resistance is due to (1) the presence of the highly effective secondary protective structure in the egg coverings to withstand the penetration of water; and (2) the relatively low rate of oxygen consumption. Contrary to the results obtained by Remaudiére with the eggs of *Locusta migratoria gallica*, it was found that the eggs of the oriental migratory locust could not survive immersion for one month when the water temperature was 30°C. The eggs of *Oedaleus* and *Oxya*, which would enter diapause when the embryos had completed anatrepsis, were found able to survive 60 days when immersed in water with a temperature of 30°C. That the eggs of the oriental migratory locust could not survive immersion at that temperature so long is explained on the basis of the fact that these eggs lack a diapause stage, which, when present, will occur when the embryos complete their anatrepsis with the secondary protective structure in the egg coverings fully developed. Thus these eggs when immersed in water will undergo embryonic development to that extent where the eggs enter the stage of much less resistance and thus are killed by immersion.

Water temperature in the present work appeared to play a very important role in deciding the mortality rate of the immersed eggs. It acts by changing the gaseous content of the water, raising the respiratory and developmental rates of the eggs, and increasing the penetrating power of water. Data from laboratory study show that the duration of survival can be prolonged when the water temperature is kept low. This was verified in the field study.

In China, the oriental migratory locust usually has two generations a year in most of the regions it is used to live. It was observed that the egg pods from the first generation (hoppers hatch in May; adults appear at the end of June to the middle of July) could not survive submersion in the summer months (i.e., June, July and August) for about 30 days, but could about 15 days. The half-developed eggs with greater resistance were observed able to survive better in waters with greater depths. Eggs from the second generation (hoppers hatch in July; adults appear in August to October) could survive submersion very well for one month in September, October, or November. It was found that egg pods submerged in water in early autumnal months could survive for 8—9 months and more than half of them could hatch in the next May. But the unsubmerged overwintering egg pods with eggs having started development in May could not survive one month under water. Overwintering eggs already submerged in water for longer time could not survive the summer months when the water temperature was relatively high.

The effect of immersion on the rate of oxygen consumption was investigated. It is seen that the suppression of respiration in eggs of earlier developmental stages was less conspicuous than that of the half-developed and fully-developed eggs. This could offer the explanation why the eggs originally in the earlier stages could develop better under water than those which were already in the later stages.

The gaseous content of water also appeared to be important in deciding the mortality rate of the eggs immersed in water. It is calculated that the eggs incubated at 30°C for 1, 6, and 14 days require partial pressures of oxygen dissolved in water with the ratio about 1:8.8:25.1 for normal respiration. Eggs immersed in well-aerated water could survive better than in the water with poor gaseous content.

From the results of the present study it seems more reasonable to assume that the over-wintering eggs of the oriental migratory locust in the natural condition cannot survive more than one year in the submerged condition.